低温环境对肉鸡生长性能、体温及行为的影响

王雪洁　张敏红　冯京海*　厉秀梅　周　莹　邢　爽　马丹丹

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193）

摘　要：本试验旨在研究低温环境对不同阶段肉鸡生长性能、体温及行为的影响，探索肉鸡适宜生长的下限温度。试验一：选择 360 只 21 日龄健康爱拔益加（AA）肉鸡，随机分为 6 个组，每组 6 个重复，每个重复 10 只。各组肉鸡分别饲养于 6 个人工环境控制舱内，舱内平均温度分别为 26.5、25.0、23.5、22.0、20.5 和 19.0 ℃。试验二：选择 240 只 35 日龄健康 AA 肉鸡，随机分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 8 只。各组肉鸡分别饲养于 5 个人工环境控制舱内，舱内平均温度分别为 22.5、20.5、18.5、16.5、14.5 ℃。2 个试验均持续 1 周，分别测定肉鸡的生长性能、体表和体核温度以及行为学指标。结果表明：1）在 21～28 日龄阶段，低温环境对肉鸡的料重比（F/G）、不同部位的体表温度及采食、站立和抱团行为次数均有显著影响（P<0.05）。其中，平均温度 26.5 ℃组肉鸡的 F/G 显著低于平均温度 22.0、20.5、19.0 ℃组（P<0.05），平均温度 26.5 ℃组肉鸡的鸡冠温度、眼睑温度、脚蹼温度和小腿温度显著高于平均温度 22.0、20.5、19.0 ℃组（P<0.05），平均温度 26.5 ℃组肉鸡的采食、站立和抱团行为次数显著低于平均温度 22.0、20.5、19.0 ℃组（P<0.05）。2）在 35～42 日龄阶段，低温环境对肉鸡的 F/G、不同部位的体表温度及站立、抱团行为次数有显著影响（P<0.05）。其中，平均温度 22.5 ℃组肉鸡的 F/G 显著低于平均温度 16.5 和 14.5 ℃组（P<0.05），平均温度 22.5 ℃组肉鸡的鸡冠温度、眼睑温度、耳垂温度、脚蹼温度和小腿温

收稿日期：2018-03-26

基金项目：国家重点研究发展计划（2016YFD0500509）；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS07）

作者简介：王雪洁（1993-），女，山东烟台人，硕士研究生，养殖专业。E-mail: 927683542@qq.com

*通信作者：冯京海，副研究员，硕士生导师，E-mail: fjh6289@126.com

度显著高于平均温度 16.5 和 14.5 ℃组（P<0.05），平均温度 22.5 ℃组肉鸡的抱团行为次数显著低于平均温度 18.5、16.5、14.5 ℃组（P<0.05），平均温度 22.5 ℃组肉鸡的站立行为次数显著低于平均温度 14.5 ℃组。由此可见，本试验条件下，25.0～22.0 ℃是 21～28 日龄肉鸡适宜生长的下限温度，19.5～17.5 ℃是 35～42 日龄肉鸡适宜生长的下限温度。

关键词：低温环境；肉鸡；生长性能；体温；行为

中图分类号：S831

在我国大部分地区的寒冷季节，规模化肉鸡舍需要以人工加热的方式维持适宜的舍内温度。近年来因环保的要求，部分地区冬季采暖由燃煤改为燃气，导致冬季的饲养成本进一步增加。研究肉鸡适宜的下限温度不仅可以节约能源，降低肉鸡的饲养成本，而且还有助于改善鸡场周边环境的空气质量。20 世纪 70 年代，美国鸡舍供暖的主要能源——液化石油气出现短缺，一些研究人员建议降低肉鸡育雏温度[1-2]，但过低温度导致肉鸡腹水症的发病率增加[3]。Deaton 等[4]将育雏温度由 32.0～35.0 ℃降低到 29.4 ℃，发现对 6 周龄肉鸡的生长性能、腹水症发病率和总死亡率无显著影响，但可节约 10%～18%液化石油气的用量。肉鸡生长中后期对低温的敏感性降低。14～26 ℃的低温对 3～6 周龄肉鸡的增重无显著影响，仅显著降低肉鸡的饲料转化效率[5-7]。因此，仅根据生长性能难以准确判断肉鸡冬季适宜的温度。当环境温度发生变化时，家禽首先通过改变体表温度和行为方式[8-9]，调节产热和散热平衡，维持体温恒定。根据不同低温下肉鸡生长性能、体温和行为等方面的变化，可以综合判断冬季肉鸡适宜的饲养温度。有关低温环境对肉鸡体表温度和行为的研究较少，王长平等[10]研究发现，降低 3 ℃刺激 6 h 显著增加肉鸡的采食和趴卧行为次数。胡春红等[11]研究发现，低温环境下（10～14 ℃）肉鸡侵扰和站立行为时间显著增加。目前，国内肉鸡舍内冬季温度控制以经验为主，缺乏科学性的指导。因此，本试验通过模拟冬季肉鸡舍内温度的变化，研究不同低温环境下肉鸡生长性能、体温及行为的变化规律，探索肉鸡适宜生长的下限温度，为

冬季肉鸡的饲养提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验动物及分组

1 日龄健康爱拔益加（AA）肉鸡购自于滦平华都肉鸡公司，饲养于动物营养学国家重点实验室家禽代谢室内，使用单层平养笼具。环境温度控制及日常饲养管理参照《AA 肉鸡饲养管理手册》(2009）进行。试验期间自由采食与饮水，采用玉米-豆粕型饲粮，参照 NRC（1994）营养需要量标准配制，基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (as-fed basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	56.51
豆粕 Soybean meal	35.52
石粉 Limestone	1.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.78
豆油 Soybean oil	4.50
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.11
食盐 NaCl	0.30
预混料 Premix[1)]	0.28
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.73
粗蛋白质 CP	20.07
钙 Ca	0.90
有效磷 AP	0.40
赖氨酸 Lys	1.00
蛋氨酸 Met	0.42
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.78

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 10 000 IU，VD_3 3 400 IU，VE 16 IU，VK_3 2.0 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 6.4 mg，VB_6 2.0 mg，VB_{12} 0.012 mg，泛酸钙 pantothenic acid

calcium 10 mg，烟酸 nicotinic acid 26 mg，叶酸 folic acid 1 mg，生物素 biotin 0.1 mg，胆碱 choline 500 mg，Zn ($ZnSO_4·7H_2O$) 40 mg，Fe ($FeSO_4·7H_2O$) 80 mg，Cu ($CuSO_4·5H_2O$) 8 mg，Mn ($MnSO_4·H_2O$) 80 mg，I (KI) 0.35 mg，Se (Na_2SeO_3) 0.15 mg。

2) 计算值 Calculated values。

试验一：选择 14 日龄健康雄性 AA 肉鸡 360 只，随机分为 6 个组，每组 6 个重复，每个重复 10 只。各组肉鸡分别饲养于 6 个人工环境控制舱内。适应期为 7 d，前 5 d 6 个环境控制舱内的温度相同，从 28.5 ℃逐渐降至 26.5 ℃，后 2 d 从 26.5 ℃逐渐变至试验设计温度。正式试验期 7 d（21～28 日龄），6 个环境控制舱内的温度分别设定为 28.0～25.0 ℃（平均温度 26.5 ℃组，mAT26.5 组）、26.5～23.5 ℃（平均温度 25.0 ℃组，mAT25.0 组）、25.0～22.0 ℃（平均温度 23.5 ℃组，mAT23.5 组）、23.5～20.5 ℃（平均温度 22.0 ℃组，mAT22.0 组）、22.0～19.0 ℃（平均温度 20.5 ℃组，mAT20.5 组）、20.5～17.5 ℃（平均温度 19.0 ℃组，mAT19.0 组），每 42 h 降低 1.0 ℃，具体温度设定及变化见图 1-A。

试验二：选择 28 日龄健康雄性 AA 肉鸡 240 只，随机分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 8 只。各组肉鸡分别饲养于 5 个人工环境控制舱内。适应期为 7 d，前 5 d 5 个环境控制舱内的温度相同，从 24.0 ℃逐渐降至 22.0 ℃，后 2 d 从 22.0 ℃逐渐变至试验设计温度。正式试验期 7 d（35～42 日龄），5 个环境控制舱内的温度分别设定为 23.5～21.5 ℃（平均 22.5 ℃组，mAT22.5 组）、21.5～19.5 ℃（平均 20.5 ℃组，mAT20.5 组）、19.5～17.5 ℃（平均 18.5 ℃组，mAT18.5 组）、17.5～15.5 ℃（平均 16.5 ℃组，mAT16.5 组）、15.5～13.5 ℃（平均 14.5 ℃组，mAT14.5 组），每 56 h 降低 1.0 ℃，具体温度设定及变化见图 1-B。

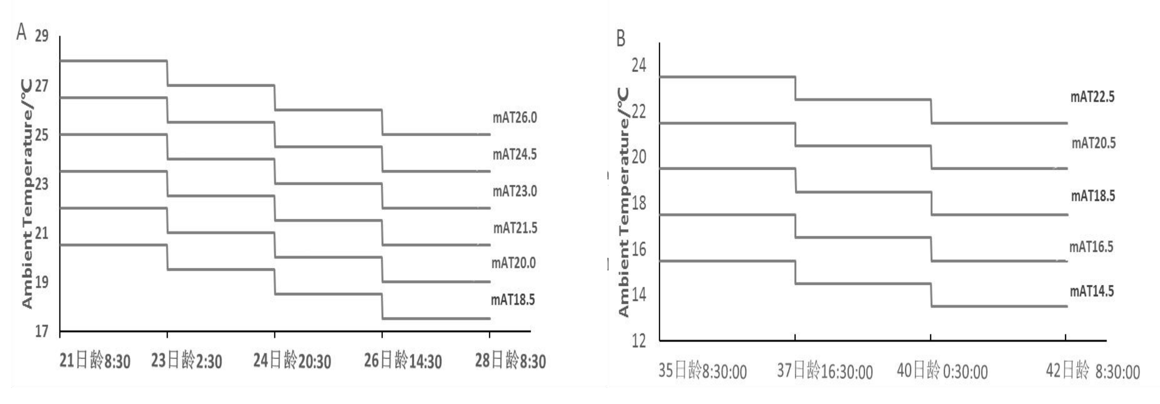


图 1　人工环境控制舱内温度的设定：21～28 日龄(A)、35～42 日龄(B)

Fig1.　Temperature setting of artificial climate chambers: 21 to 28 days of age (A) and 35 to 42 days of age (B)

1.2　测定指标及方法

1.2.1　生长性能测定

以重复为单位，记录每天耗料量，计算平均日采食量（ADFI）。分别在正式试验期开始、结束当日称重，计算平均日增重（ADG）和料重比（F/G）。

1.2.2　体温测定

体核温度（core temperature，CT）：在试验开始前，每个重复选取 1 只肉鸡，将微型温度记录仪（DS1922L，Maxim 公司，美国，精确度±0.5 ℃）通过食道投放到胃中，试验结束后屠宰，取出该温度记录仪。温度记录仪记录频率为每 10 min 记录 1 次，连续记录 7 d 体核温度的变化。温度记录仪使用前利用北京市海淀区计量检测所校正过的标准水银温度计进行校正。具体方法参考常玉等[12]的操作方法。

体表温度（surface temperature，ST）：试验期间每个重复选取 1 只肉鸡，采用红外成像仪（FLIR E4，FLIR 公司，瑞典，热分辨率 0.15 ℃，精度±2%）对肉鸡头部侧面、小腿侧

面分别进行垂直拍摄，拍摄距离为 0.5 m，每隔 5 min 拍摄 1 次，连续拍摄 2 次，共连续拍摄 7 d。利用 FLOR TOOIS 软件测量红外照片中鸡冠、眼睑、耳垂、脚蹼、小腿部位的温度。

1.2.3 行为指标测定

每个笼子上方悬挂 1 个红外摄像机（Best kebo BN-IPC4-3MD，北京），调整高度使视野覆盖整个鸡笼。拍摄视频由 NVR 存储，试验结束后回放观察各行为的发生次数。采用图像扫描采样，瞬时记录法进行统计。试验期间每天 11:00～12:00、16:00～17:00，每 10 min 进行截屏、观察 1 次，每天观察 12 次，共观察 84 次。记录每次观察时每个重复中发生采食、饮水、站立、抱团和伸展等状态性行为的鸡只数，以重复为单位，计算 7 d 发生该行为的累计鸡只数。

各状态性行为的定义。采食：头部位于食槽上方；饮水：嘴部距离饮水器5 cm以内，且朝向饮水器；站立：双腿站立（不统计采食和饮水的肉鸡）；抱团：胸部着地，同时3只或3只以上紧密接触（接触面积大于肉鸡周长的1/4）；伸展：一只翅膀伸展。

1.3 数据处理与统计

生长性能、体核温度、体表温度和呼吸频率数据采用 SAS 9.2 统计软件中一般线性模型（GLM）进行单因素方差分析，方差显著者采用 Duncan 氏法进行多重比较；行为数据采用 SAS 9.2 统计软件中非参数 Kruskal-Wallis 检验。试验数据用平均值±标准差表示，$P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 低温环境对肉鸡生长性能的影响

由表 2 可见，低温环境对 21～28 日龄肉鸡的 ADFI 和 ADG 无显著影响（$P=0.070$、$P=0.101$），但随环境温度降低，ADG 呈线性降低的趋势（$P<0.05$）。低温环境对 21～28 日

龄肉鸡的 F/G 有显著影响（P<0.05），随环境温度降低，F/G 呈线性升高趋势（P<0.05），其中平均温度 26.5 ℃组肉鸡的 F/G 显著低于平均温度 22.0、20.5、19.0 ℃组（P<0.05）。从生长性能的数值上看，平均温度低于 22.0 ℃对肉鸡 F/G 有较为明显的影响。

表 2　低温环境对 21～28 日龄肉鸡生长性能的影响

Table 2　Effects of low ambient temperature on growth performance of broilers aged from 21 to 28 days

组别 Groups	平均日采食量 ADFI/g	平均日增重 AGD/g	料重比 F/G
mAT26.5	124.20±5.22	84.81±3.51	1.47±0.05[b]
mAT25.0	130.35±2.59	84.67±2.48	1.54±0.05[ab]
mAT23.5	132.69±1.81	85.25±8.34	1.57±0.17[ab]
mAT22.0	128.77±5.41	78.82±7.06	1.64±0.09[a]
mAT20.5	130.56±4.53	82.39±4.13	1.59±0.04[a]
mAT19.0	128.26±6.55	77.54±6.33	1.66±0.07[a]
P 值 P-value	0.070	0.101	0.012
线性 Linear	0.297	0.016	0.001
二次 Quadratic	0.016	0.592	0.312

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

由表 3 可见，低温环境对 35～42 日龄肉鸡的 ADFI 和 ADG 无显著影响（P=0.272、P=0.431），对 F/G 有显著影响（P<0.05），随环境温度降低，F/G 呈线性升高（P<0.05），其中平均温度 22.5 ℃组肉鸡的 F/G 显著低于平均温度 16.5 和 14.5 ℃组（P<0.05）。从生长性能的数值上看，平均温度低于 16.5 ℃对肉鸡 F/G 有较为明显的影响。

表 3　低温环境对 35～42 日龄肉鸡生长性能的影响

Table 3 Effects of low ambient temperature on growth performance of broilers aged from 35 to 42 days

组别 Groups	平均日采食量 ADFI/g	平均日增重 AGD/g	料重比 F/G
mAT22.5	208.38±6.02	110.07±6.11	1.90±0.06[a]
mAT20.5	211.22±4.64	108.74±4.43	1.94±0.06[ab]
mAT18.5	210.34±10.83	105.60±8.87	2.00±0.10[ab]
mAT16.5	210.24±10.93	102.88±7.10	2.05±0.06[b]
mAT14.5	218.88±8.73	105.85±6.24	2.07±0.07[b]
P 值 *P*-value	0.272	0.431	0.002
线性 Linear	0.084	0.114	<0.001
二次 Quadratic	0.353	0.389	0.636

2.2 低温环境对肉鸡体温的影响

由表 4 可见，低温环境对 21～28 日龄肉鸡的体核温度无显著影响（P=0.345），对不同部位的体表温度均有显著影响（P<0.05）；随环境温度降低，不同部位体表温度均呈线性降低（P<0.05）。与平均温度 26.5 ℃组相比，平均温度 22.0、20.5、19.0 ℃组肉鸡的鸡冠温度、眼睑温度、脚蹼温度和小腿温度均显著降低（P<0.05）。

表 4 低温环境对 21～28 日龄肉鸡体温的影响

Table 4 Effects of low ambient temperature on body temperature of broilers aged from 21 to 28 days ℃

组别 Groups	体核温度 Core temperature	鸡冠温度 Crest temperature	眼睑温度 Eyes temperature	耳垂温度 Earlap temperature	脚蹼温度 Ankle temperature	小腿温度 Leg temperature
mAT26.5	40.99±0.68	37.44±0.95[a]	38.57±0.70[a]	39.67±1.00[ab]	38.47±0.73[a]	40.46±0.50[a]
mAT25.0	41.10±0.58	35.53±0.66[b]	37.19±0.46[bc]	39.53±0.53[ab]	37.89±0.61[bc]	39.81±0.30[ab]

mAT23.5	41.10±0.38	35.92±0.79[b]	37.66±0.42[bc]	40.25±0.21[a]	38.01±0.38[ab]	40.04±0.21[ab]
mAT22.0	40.66±0.54	34.34±0.72[c]	37.19±0.20[bc]	39.72±0.24[ab]	36.17±0.30[e]	39.21±0.49[bc]
mAT20.5	40.35±0.89	34.14±0.79[c]	37.08±0.31[bc]	39.35±0.38[bc]	37.06±1.01[cd]	39.42±0.46[bc]
mAT19.0	40.89±0.83	33.16±0.46[d]	36.70±0.17[c]	38.76±0.86[c]	36.35±0.73[de]	38.76±0.86[c]
P 值 *P*-value	0.345	<0.001	<0.001	0.009	<0.001	<0.001
线性 Linear	0.236	<0.001	<0.001	0.012	<0.001	<0.001
二次 Quadratic	0.762	0.416	0.098	0.008	0.377	0.952

由表 5 可见，低温环境对 35～42 日龄肉鸡的体核温度无显著影响（$P=0.862$），对不同部位的体表温度均有显著影响（$P<0.05$）；随环境温度降低，不同部位体表温度均呈线性降低（$P<0.05$）。与平均温度 22.5 ℃组相比，平均温度 18.5 ℃组肉鸡的鸡冠和耳垂温度无显著差异（$P>0.05$），平均温度 16.5 和 14.5 ℃组肉鸡的鸡冠温度、眼睑温度、耳垂温度、脚蹼温度和小腿温度均显著降低（$P<0.05$）。

表 5　低温环境对 35～42 日龄肉鸡体温的影响

Table 5　Effects of low ambient temperature on body temperature of broilers aged from 35 to 42 days　℃

组别 Groups	体核温度 Core temperature	鸡冠温度 Crest temperature	眼睑温度 Eyes temperature	耳垂温度 Earlap temperature	脚蹼温度 Ankle temperature	小腿温度 Leg temperature
mAT22.5	41.19±0.43	37.60±1.00[a]	37.17±0.47[a]	40.06±0.32[a]	37.82±1.22[a]	40.23±0.58[a]
mAT20.5	42.08±3.78	36.21±1.49[a]	36.51±0.89[ab]	39.13±0.47[bc]	37.42±0.57[ab]	39.29±0.53[b]
mAT18.5	41.31±0.27	35.83±1.47[a]	36.11±0.78[b]	39.79±1.17[ab]	36.01±0.90[b]	38.91±0.32[b]
mAT16.5	41.18±0.14	32.43±1.62[b]	34.73±0.71[c]	38.84±0.49[c]	31.80±0.99[c]	37.84±0.80[c]
mAT14.5	41.05±0.54	32.38±1.06[b]	35.04±0.18[c]	38.73±0.21[c]	29.16±1.77[d]	36.60±1.24[d]
P 值 *P*-value	0.862	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	<0.001
线性 Linear	0.588	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001

二次 Quadratic	0.583	0.870	0.397	0.989	<0.001	0.272

2.3 低温环境对肉鸡行为的影响

由表 6 可见，低温环境对 21～28 日龄肉鸡的饮水和伸展行为次数无显著影响（P=0.156、P=0.162），对肉鸡的采食、站立和抱团行为次数有显著影响（P<0.05）。与平均温度 26.5 ℃组相比，平均温度 22.0、20.5、19.0 ℃组肉鸡的采食、站立和抱团行为次数均显著升高（P<0.05）。

表 6 低温环境对 21～28 日龄肉鸡行为的影响

Table 6 Effects of low ambient temperature on behavior of broilers aged from 21 to 28 days 次数

组别 Groups	采食 Feeding	饮水 Drinking	站立 Standing	抱团 Huddling	伸展 Stretching
mAT26.5	14.00±1.67^{d}	3.67±0.816	6.00±1.549^{b}	31.17±13.33^{b}	0.83±0.41
mAT25.0	15.00±2.45^{cd}	4.83±1.17	7.00±1.67^{b}	41.67±2.31^{b}	0.83±0.41
mAT23.5	20.50±4.32^{ab}	4.00±1.11	10.83±0.98^{a}	40.33±9.37^{b}	0.33±0.52
mAT22.0	18.67±2.50^{abc}	5.17±1.17	13.17±2.86^{a}	55.17±5.91^{a}	0. 33±0.52
mAT20.5	17.00±2.68^{bc}	4.50±1.05	12.00±2.00^{a}	62.50±7.77^{a}	0.33±0.52
mAT19.0	22.33±3.50^{a}	4.83±0.75	12.83±3.76^{a}	53.83±3.66^{a}	0.33±0.52
P 值 P-value	0.001	0.174	<0.001	<0.001	0.190

由表 7 可见，低温环境对 35～42 日龄肉鸡的采食、饮水和伸展行为次数无显著影响（P=0.423、P=0.164、P=0.407），对肉鸡的站立和抱团行为次数有显著影响（P<0.05）。与平均温度 22.5 ℃组相比，平均温度 18.5、16.5、14.5 ℃组肉鸡的抱团行为次数显著升高（P<0.05），平均温度 14.5 ℃组肉鸡的站立行为次数显著升高（P<0.05）。

表 7 低温环境对 35～42 日龄肉鸡行为的影响

Table 7 Effects of low ambient temperature on behavior of broilers aged from 35 to 42 days 次数

组别 Groups	采食 Feeding	饮水 Drinking	站立 Standing	抱团 Huddling	伸展 Stretching
mAT22.5	12.50±3.51	3.83±1.17	4.17±1.17[b]	21.67±4.32[c]	0.50±0.55
mAT20.5	11.17±2.40	3.33±1.21	5.17±0.41[ab]	27.25±8.26[b]	0.50±0.55
mAT18.5	14.17±4.62	3.67±1.03	4.67±0.58[b]	31.33±5.72[ab]	0.33±0.52
mAT16.5	11.25±1.50	3.67±1.86	5.33±1.51[ab]	38.00±4.20[a]	0.17±0.41
mAT14.5	11.50±3.27	4.00±1.00	6.50±1.52[a]	37.67±5.03[ab]	0.00±0.00
P 值 *P*-value	0.423	0.164	0.010	0.008	0.407

3 讨 论

3.1 低温环境对肉鸡生长性能的影响

与高温环境相比，肉鸡更容易适应低温环境[13]。研究表明，与常温26.7 ℃相比，低温21.1和15.6 ℃对肉鸡体重无显著影响，随着环境温度的降低，F/G呈线性增加[6]。14～26 ℃的低温环境对3～4周龄肉鸡的ADG无显著影响，而代谢能摄入量随温度降低显著增加[7]。May等[14]也发现，在12～26 ℃，随环境温度降低，F/G呈线性升高，而增重与环境温度无线性关系。本研究同样表明，降低环境温度对肉鸡ADG和ADFI无显著影响，但F/G呈线性升高。Deaton等[5]报道，环境温度低于21 ℃将影响肉鸡的饲料转化效率。24 ℃时肉鸡（5～8周龄）的饲料转化效率最佳[15]。此外，本研究表明，平均温度低于22.0 ℃对21～28日龄肉鸡F/G有显著影响，平均温度低于16.5 ℃对35～42日龄肉鸡F/G有显著影响。

3.2 低温环境对肉鸡体温的影响

当环境温度升高时，家禽通过增加体表血流量，促使热量由体内向体表扩散[16-17]，体表温度随环境温度升高而逐渐升高[18-19]。因此体表温度常作为评价肉鸡热舒适和热应激的重要指标[20-22]。但低温环境下肉鸡体表温度的变化研究很少。本研究揭示，随环境温度降低，不同部位的体表温度呈线性下降，这表明低温环境下肉鸡通过降低体表温度减少可感散热量，以维持深层体温恒定。平均环境温度低于22 ℃时21～28日龄肉鸡体表温度显著降低，平均

环境温度低于18.5 ℃时35～42日龄肉鸡体表温度显著降低。

在一定的环境温度范围内，家禽可以通过调节产热和散热量，维持体核温度的恒定，因此体核温度常用于反映家禽的热应激[23-25]。本研究表明，在试验设定的温度范围内，肉鸡体核温度无显著变化，表明在此温度范围内，肉鸡可以通过调节体表温度、采食量以及行为方式，维持深层体温的基本恒定。

3.3　低温环境对肉鸡行为的影响

当环境温度发生变化时，家禽可以通过改变行为方式调节产热和散热，因此可以利用行为变化估测家禽的热中性区[26]。多数研究关注高温环境下家禽的行为变化[11,27-30]，对低温的影响研究较少。王长平等[10]研究发现，环境温度降低3 ℃持续6 h，肉鸡采食和趴卧行为次数显著增加。胡春红等[11]研究发现，低温环境下（10～14 ℃）肉鸡侵扰和站立行为时间显著增加。本研究结果表明，平均温度低于22.0 ℃时3～4周龄肉鸡采食、站立和抱团行为显著增加。采食和站立行为的增加有助于提高肉鸡的产热量（包括食后产热和运动产热），而抱团行为的增加有助于减少散热。平均温度低于18.5 ℃时，35～42日龄肉鸡抱团行为次数显著提高，而低于14.5 ℃时站立行为次数才显著提高，表明抱团行为次数是评价肉鸡热舒适区下限温度的敏感指标。

3.4　冬季肉鸡适宜生长下限温度

《AA肉鸡饲养管理手册》(2009)推荐18日龄之后肉鸡的饲养温度应维持在22～24 ℃，最低应维持在18～20 ℃以上。试验前调研了国内数个大型肉鸡集团，发现21～28日龄肉鸡鸡舍温度一般控制在23.5～27.0 ℃，35～42日龄肉鸡鸡舍温度一般控制在19.0～23.0 ℃。本试验表明，21～28日龄鸡舍温度控制在23.5～20.5 ℃，35～42日龄鸡舍温度控制在19.5～17.5 ℃时对肉鸡的生长性能、体温及行为无显著影响。

4 结 论

本试验条件下，23.5～20.5 ℃是 21～28 日龄肉鸡适宜生长的下限温度，19.5～17.5 ℃是 35～42 日龄肉鸡适宜生长的下限温度。

参考文献：

[1] HARWOOD F W,REECE F N.Small-area chick brooding[J].American Society of Agricultural Engineers,1975,75:4534.

[2] DEATON J W.Energy conservation and its effect on growth and health of chicks[C]//Proceedings of the new hampshire poultry health conference.Durham:[s.n.],1978:8–18.

[3] JULIAN R J.Ascites in poultry[J].Avian Pathology,1993,22(3):419–454.

[4] DEATON J W,BRANTON S L,SIMMONS J D,et al.The effect of brooding temperature on broiler performance[J].Poultry Science,1996,75(10):1217–1220.

[5] DEATON J W,REECE F N,MCNAUGHTON J L.The effect of temperature during the growing period on broiler performance[J].Poultry Science,1978,57(4):1070–1074.

[6] REECE F N,LOTT B D.The effects of temperature and age on body weight and feed efficiency of broiler chickens[J].Poultry Science,1983,62(9):1906–1908.

[7] ZHANG S S,SU H G,ZHOU Y,et al.Effects of sustained cold and heat stress on energy intake,growth and mitochondrial function of broiler chickens[J].Journal of Integrative Agriculture,2016,15(10):2336–2342.

[8] MCFARLANE J M,CURTIS S E,SHANKS R D,et al.Multiple concurrent stressors in

chicks.1.Effect on weight gain,feed intake,and behavior[J].Poultry Science,1989,68(4):501–509.

[9] MAY J D,LOTT B D.Feed and water consumption patterns of broilers at high environmental temperatures[J].Poultry Science,1992,71(2):331–336.

[10] 王长平,周清波,程广东,等.不同冷刺激时间对肉鸡行为指标的影响[J].中国家禽,2016,38(19):40–43.

[11] 胡春红,张敏红,冯京海,等.偏热刺激对肉鸡休息行为、生理及生产性能的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2070–2076.

[12] 常玉,张少帅,彭骞骞,等.产蛋及喂料行为对蛋鸡体核和体表温度的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(10):2045–2051.

[13] MANNING R O,WYATT R D.Effect of cold acclimation on the broiler chicks' resistance to acute aflatoxicosis[J].Poultry Science,1990,69(3):388–396.

[14] MAY J D,LOTT B D.Relating weight gain and feed:gain off male and female broilers to rearing temperature[J].Poultry Science,2001,80(5):581–584.

[15] HURWITZ S,WEISELBERG M,EISNER U,et al.The energy requirements and performance of growing chickens and turkeys as affected by environmental temperature[J].Poultry Science,1980,59(10):2290–2299.

[16] WOLFENSON D,FREI Y F,SNAPIR N,et al.Heat stress effects on capillary blood flow and its redistribution in the laying hen[J].Pflügers Archiv,1981,390(1):86–93.

[17] WOLFENSON D.The effect of acclimatization on blood flow and its distribution in

normothermic and hyperthermic domestic fowl[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1986,85(4):739–742.

[18] YAHAV S,LUGER D,CAHANER A,et al.Thermoregulation in naked neck chickens subjected to different ambient temperatures[J].British Poultry Science,1998,39(1):133–138.

[19] YAHAV S,RUSAL M,SHINDER D.The effect of ventilation on performance body and surface temperature of young turkeys[J].Poultry Science,2008,87(1):133–137.

[20] MALHEIROS R D,MORAES V M B,BRUNO L D G,et al.Environmental temperature and cloacal and surface temperatures of broiler chicks in first week post-hatch[J].The Journal of Applied Poultry Research,2000,9(1):111–117.

[21] SHINDER D,RUSAL M,TANNY J,et al.Thermoregulatory responses of chicks (*Gallus domesticus*) to low ambient temperatures at an early age[J].Poultry Science,2007,86(10):2200–2209.

[22] CANGAR O,AERTS J M,BUYSE J,et al.Quantification of the spatial distribution of surface temperatures of broilers[J].Poultry Science,2008,87(12):2493–2499.

[23] TZSCHENTKE B,NICHELMANN M,POSTEL T.Effects of ambient temperature,age and wind speed on the thermal balance of layer-strain fowls[J].British Poultry Science,1996,7(3):501–520.

[24] YAHAV S,STRASCHNOW A,PLAVNIK I,et al.Blood system response of chickens to changes in environmental temperature[J].Poultry Science,1997,76(4):627–633.

[25] YAHAV S.The effect of constant and diurnal cyclic temperatures on performance and blood system of young turkeys[J].Journal of Thermal Biology,1999,24(1):71–78.

[26] PEREIRA D F,NÄÄS I A.Estimating the thermoneutral zone for broiler breeders using behavioral analysis[J].Computers and Electronics in Agriculture,2008,62(1):2–7.

[27] BOZAKOVA N A,STOYANCHEV K T,POPOVA-RALCHEVA S,et al.Behavioral study of mule ducks with subclinical muscular dystrophy under ecological comfort and stress conditions[J].Bulgarian Journal of Agricultural Science,2012,18(4):511–518.

[28] EL-SHAFAEI H E,SHARAF M M,RASHED R R.The effect of different intervention strategies to alleviate heat stress on behavior,performance and some blood parameters of growing Muscovy ducks[J].Alexandria Journal of Veterinary Sciences,2016,48(2):69–76.

[29] MACK L A,FELVER-GANT J N,DENNIS R L,et al.Genetic variations alter production and behavioral responses following heat stress in 2 strains of laying hens[J].Poultry Science,2013,92(2):285–294.

[30] 李香,石玉祥,张敏红,等.急性偏热环境温度对肉鸡行为、生理、血清生化指标和禽类解偶联蛋白 mRNA 表达量的影响[J].动物营养学报,2017,29(3):776–785.

Effects of Low Ambient Temperature on Growth Performance, Body Temperature and Behavior of Broilers

WANG Xuejie ZHANG Minhong FENG Jinghai* LI Xiumei ZHOU Ying XING Shuang MA Dandan

（*State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing* 100193, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of low ambient temperature on

growth performance, body temperature and behavior of broilers, and to explore the lower limit temperature for suitable growth of broilers. Experiment 1: a total of 360 healthy 21-day-old Arbor Acres (AA) broilers were selected and randomly allotted into 6 groups with 6 replicates per group and 10 broilers per replicate. Broilers in the 6 groups were fed in the 6 artificial climate chambers, the chamber average temperatures were 26.5, 25.0, 23.5, 22.0 20.5 and 19.0 ℃， respectively. Experiment 2: a total of 240 healthy 35-day-old AA broilers were selected and randomly allotted into 5 groups with 6 replicates per group and 8 broilers per replicate. Broilers in the 5 groups were fed in the 6 artificial climate chambers, the chamber average temperatures were 22.5, 20.5, 18.5, 16.5 and 14.5 ℃，respectively. Both trials lasted for 1 week, and the growth performance, surface temperature, core temperature and behavioral parameters of broilers were determined. The results showed as follows: 1) during 21 to 28 days of age period, the low ambient temperature significantly affected the feed to gain ratio (F/G), surface temperatures in different parts and standing and huddling behavior times of broilers (P<0.05). The F/G of broilers in average temperature 26.5 ℃ group was significantly lower than that in average temperature 22.0, 20.5 and 19.0 ℃ groups (P<0.05), the crest temperature, eyes temperature, ankle temperature, leg temperature of broilers in average temperature 26.5 ℃ group were significantly higher than those in 22.0, 20.5 and 19.0 ℃ groups (P<0.05), the feeding, standing and huddling behavior times of broilers in average temperature 26.5 ℃ group were significantly lower than those in 22.0, 20.5 and 19.0 ℃ groups (P<0.05). 2) During 35 to 42 days of age period, the low ambient temperature significantly affected the F/G, surface temperatures in different parts and standing and huddling behavior times of broilers (P<0.05). The F/G of broilers in average temperature 22.5 ℃ group was significantly lower than that in average temperature 16.5 and 14.5 ℃ groups (P<0.05), the crest temperature, eyes temperature, earlap temperature, ankle temperature, leg temperature of

broilers in average temperature 22.5 ℃ group were significantly higher than those in 16.5 and 14.5 ℃ groups (P<0.05), the huddling behavior time of broilers in average temperature 22.5 ℃ group were significantly lower than that in 18.5, 16.5 and 14.5 ℃ groups (P<0.05), the standing behavior time of broilers in average temperature 22.5 ℃ group were significantly lower than that in 14.5 ℃ group (P<0.05). In conclusion, under the condition of this experiment, the lower limit temperature for suitable growth of broilers are 25.0 to 22.0 ℃ (21 to 28 days of age) and 19.5 to 17.5 ℃ (35 to 42 days of age).

Key words: low ambient temperature; broilers; growth performance; body temperature; behavior

*Corresponding author, associate professor, E-mail: fjh6289@126.com （责任编辑　武海龙）